

## ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ТРЕХКОМПОНЕНТНЫХ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ КАРБИДОВ

<sup>1</sup>ВАН ДАКУНЬ, <sup>2</sup>А.Г.БУРЛАЧЕНКО, <sup>1,2</sup>Ю.А.МИРОВОЙ, <sup>2</sup>Е.С.ДЕДОВА, <sup>1,2</sup>С.П.БУЯКОВА

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский государственный университет

<sup>2</sup>Институт физики прочности и материаловедения СО РАН (г. Томск)

<sup>3</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Высокоэнтропийные керамические материалы (high-entropy ceramics HEC) вызывают значительный научный и практический интерес вследствие уникального сочетания свойств. До сих пор предпринимались многочисленные попытки исследовать различные виды высокоэнтропийной керамики, в том числе оксиды, бориды и карбиды металлов. Высокоэнтропийные керамики на основе карбида, в последнее время привлекают все большее внимание для потенциального использования в области термозащиты, гиперзвуковых аэрокосмических благодаря высокой температуре плавления ( $> 3273$  К) и механическим свойствам, а также хорошей химической и высокотемпературной стабильности их отдельных компонентов из карбидов металлов. Большая часть предыдущих работ, посвященных HEC на основе карбидов, направлена на получение твердых растворов, изучение их физико-механических свойств. Однако остаются открытыми вопросы о структурообразовании высокоэнтропийных твердых растворов.

Целью настоящей работы является изучение структурообразования трехкомпонентных высокоэнтропийных твердых растворов на основе карбидов.

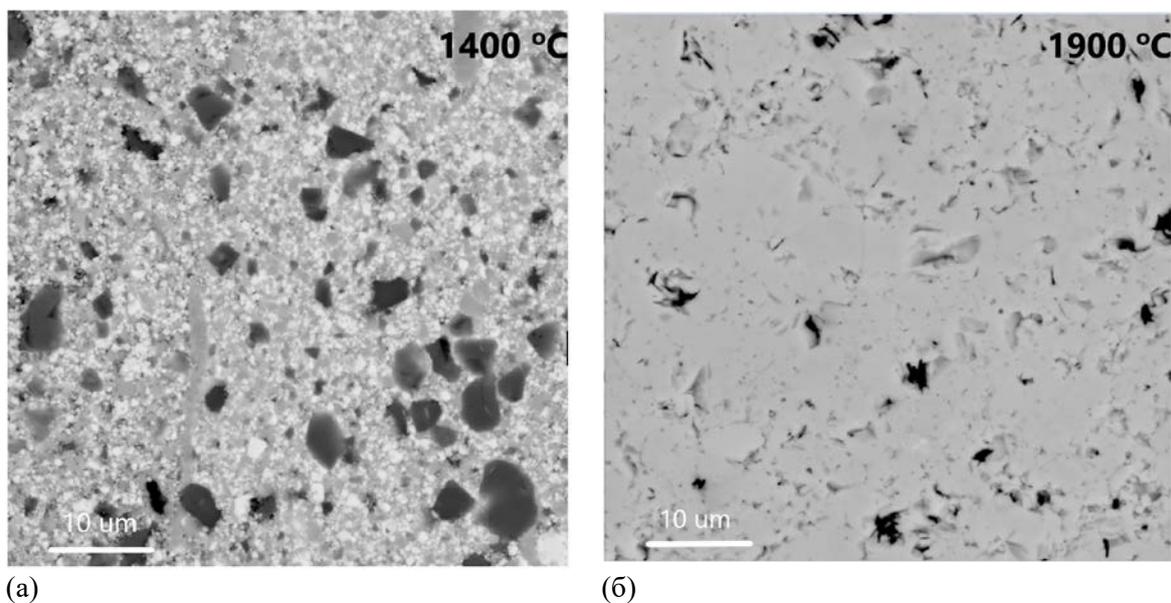
Материалом для исследований выступили высокоэнтропийные керамические твердые растворы (Ti-Zr-Hf)C и (Zr-Nb-Hf)C, полученные из порошков TiC, ZrC, HfC и NbC в эквимольном соотношении. Приготовление порошковых смесей с их одновременной активацией производилось в планетарной мельнице-активаторе в среде аргона в течение 3 минут при частоте вращения барабана 1820 об/мин-1. Образцы керамических композитов получены методом горячего прессования при температурах спекания от 1400 °C до 1900 °C с шагом 100 °C при давлении 50 МПа в течение 30 минут в атмосфере аргона. Фазовый состав высокоэнтропийных керамик анализировался с помощью дифрактометра с CuK $\alpha$  излучением. Микроскопические исследования проводили с помощью сканирующего электронного микроскопа “Vega Tescan”.

Фазовый состав всех исследуемых керамических материалов был представлен монофазным твердым раствором замещения с ГЦК решеткой. На дифрактограммах системы (Ti-Zr-Hf)C наблюдалось исчезновение рефлексов исходных карбидов при повышении температуры от 1400 °C до 1900 °C.

Рентгенофазовые исследования показали, что монофазный твердый раствор (Ti-Zr-Hf)C синтезируется при температуре спекания 1700 °C. Формирование однофазного высокоэнтропийного твердого раствора (Zr-Nb-Hf)C происходит при температуре 1500 °C. Стоит отметить, что в исследуемых системах присутствовало незначительное количество оксидной фазы, обусловленной исходным состоянием монокарбидов.

На рисунке 1 приведены РЭМ – изображения поверхности керамических материалов в режиме BSE (режим контраста по среднему атомному номеру) при разных температурах спекания. Видно, что структура керамик, полученных при температуре 1400 °C, неоднородна. Повышение температуры до 1900 °C привело к образованию однородной структуры.

РЭМ-изображение полированной поверхности твердого раствора (Ti,Zr,Hf)C, полученного при температуре 1900 °C, и соответствующее ему элементное картирование элементов приведено на рисунке 2. Видно, что элементы распределены однородно в микроструктуре полученного материала, что подтверждает формирование твердого раствора.



(a)

(б)

Рисунок 1 - РЭМ-изображения поверхности образцов (Ti-Zr-Hf)C, спеченных при различных температурах

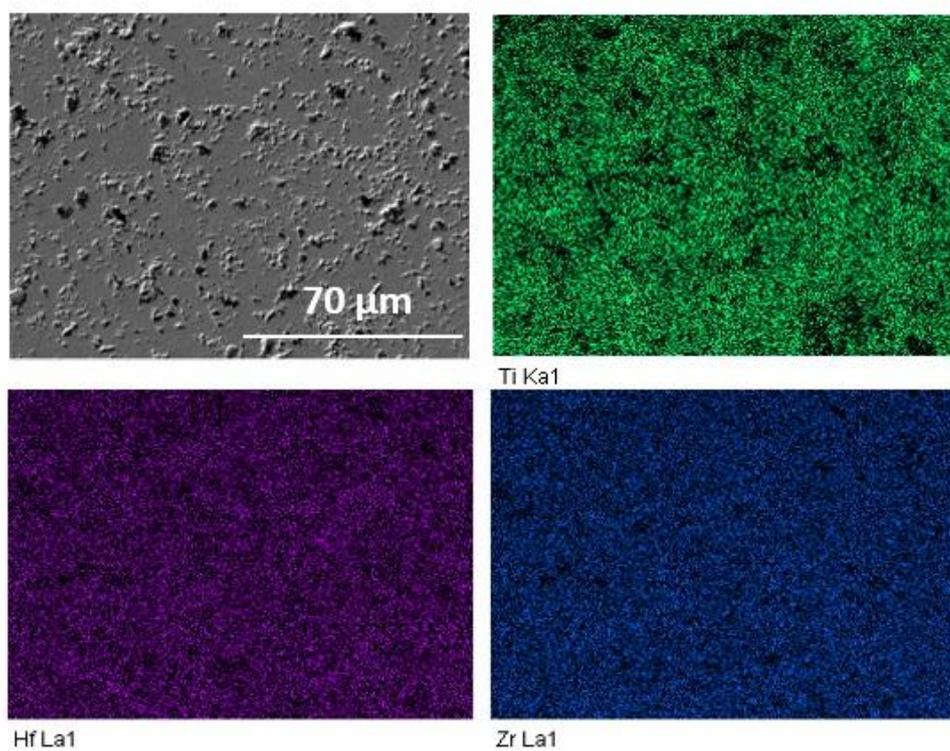


Рисунок 2 – Элементное картирование высокоэнтропийного твердого раствора (Ti,Zr,Hf)C

*Работа проводилась в рамках Государственного задания ИФПМ СО РАН (программа III.23.2.3).*